

BEITRAG AUS DER REIHE:

Karl-Heinz Lotze, Werner B. Schneider (Hrsg.)

Wege in der Physikdidaktik Band 5 Naturphänomene und Astronomie

ISBN 3 - 7896 - 0666 - 9

Verlag Palm & Enke, Erlangen und Jena 2002

Anmerkung:

Die Bände 1 bis 5 sind (Ausnahme Band 5) im Buchhandel vergriffen.
Die einzelnen Beiträge stehen jedoch auf der Homepage

<http://www.solstice.de>

zum freien Herunterladen zur Verfügung.

Das Copyright liegt bei den Autoren und Herausgebern.

Zum privaten Gebrauch dürfen die Beiträge unter Angabe der Quelle
genutzt werden. Auf der Homepage

www.solstice.de

werden noch weitere Materialien zur Verfügung gestellt.

Dirk Brockmann

Die Entfernung der Galaxie M100 - ein Unterrichtsprojekt zu einem Thema aus der aktuellen astronomischen Forschung

1 Einleitung

Anhand eines aktuellen astronomischen Projektes zur Entfernungsbestimmung der Galaxie M100 soll untersucht werden, inwiefern die Einbeziehung moderner Forschungsergebnisse in das Unterrichtsgeschehen sinnvoll ist.



Abb. 1: Emblem zum Projekt Entfernungsbestimmung der Galaxie M100

Dazu soll dieses Projekt zunächst unter der Fragestellung der didaktischen Reduzierbarkeit vorgestellt werden, danach folgt ein Bericht über die konkrete Durchführung in einem Physikleistungskurs der dreizehnten Jahrgangsstufe. Schließlich soll diese Durchführung auch unter der einleitenden Fragestellung reflektiert werden. Dabei werden die Ergebnisse eines Fragebogens, der am Ende der Unternehmenseinheit verteilt wurde einerseits und die einer Diskussion mit den Kursteilnehmern andererseits eine wichtige Untersuchungsgrundlage bilden.

Zur Auswertung des Datenmaterials wurde ein grafikfähiger CAS-Taschenrechner eingesetzt (Texas Instruments TI-92 plus). Auch auf die Erfahrungen im Umgang mit diesem neuen Medium soll eingegangen werden.

2 Das Hubble Space Telescope Extragalactic Distance Scale Key Project

Das *HST Extragalactic Distance Scale Key Project* ist ein internationales astronomisches Forschungsvorhaben zur Bestimmung von Galaxiendistanzen aus Daten moderner Großteleskope, vor allem aber des Hubble-Weltraumteleskopes [4]. Vermessen wurden unter anderem die Entfernungen zur Großen Magellanschen Wolke (Abk., engl.: LMC), zur Galaxie M81 ([2]) sowie zur Galaxie M100 ([3]). Das Fernziel dieser Entfernungsmessungen ist eine Neubestimmung der Hubble-Konstanten, die Aufschluss gibt über das Expansionsverhalten kosmischer Strukturen.

Die den Berechnungen zugrunde liegende Entdeckung machte die amerikanische Astronomin *Henrietta Leavitt*, als sie 1912 bei der Beobachtung von Helligkeitsveränderlichen Sternen, sogenannten δ -Cepheiden, in der Kleinen Magellanschen Wolke, einer Nachbargalaxie der Milchstraße, einen linearen Zusammenhang zwischen der mittleren scheinbaren Helligkeit m dieser Sterne und dem Logarithmus der Periode P , mit der deren Helligkeit schwankte, feststellte. Da alle Sterne dieses Sternensystems in etwa gleichweit von der Erde entfernt sind, muss sich diese Proportionalität auch auf die mittlere absolute Helligkeit der Sterne übertragen lassen. Das gerade aber macht sie zu hervorragenden Entfernungskindikatoren, da aus dem Vergleich von scheinbarer und absoluter Helligkeit eines kosmischen Objektes mittels einer *Entfernungsmodul* genannten Formel auf dessen Entfernung geschlossen werden kann.

Mit Hilfe des Hubble-Raumteleskopes können Galaxien bis zu einer Entfernung von etwa 30Mpc bzw. knapp 10^{24} m in ihren Randbereichen noch in Einzelsterne aufgelöst werden. In weiter entfernten Galaxien ist die Beobachtung von δ -Cepheiden deshalb nicht möglich, das Verfahren insofern hierdurch limitiert.

Betrachtet man die den Berechnungen zugrundeliegende Mathematik, so wird deutlich, dass das Projekt in der Sekundarstufe II handhabbar ist, da es im Prinzip nur um das Einsetzen und Umformen von Gleichungen und die Handhabung von Logarithmen geht. Motiviert durch die eindrucksvollen Bilder von galaktischen Systemen können die Schüler anhand des Datensatzes von δ -Cepheiden einer Galaxie den Periode-Leuchtkraft-Zusammenhang dieser Sterne entdecken, diese Entdeckung mathematisieren und schließlich bei der Entfernungsbestimmung der Galaxie M100 unter Zuhilfenahme der Daten des Hubble-Raumteleskopes anwenden.

Aus Gründen der didaktischen Reduktion wird auf den nötigen Farbgleich bei der Verwendung verschiedener Detektoren, deren Kalibrierung und die Verwendung definierter Farbfilter zur Untersuchung der Absorption durch interstellare Gasmassen ebensowenig eingegangen wie auf den Vergleich mit anderen Messmethoden. Würde man diese Inhalte mit einbeziehen, wäre das Projekt sicherlich halbjahresfüllend, prinzipiell möglich ist aber auch das, zumal es hier viele Anknüpfungspunkte an physikalische Themen gibt.

3 Durchführung des Projektes im Unterricht

3.1 Vorbemerkung

Die Durchführung in einem Physik-Leistungskurs der dreizehnten Jahrgangsstufe erfolgte als Unterrichtsversuch im Rahmen der zweiten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien und war auf sechs Unterrichtsstunden limitiert. Eine Stunde wurde dabei für die Besprechung historischer Methoden kosmischer Entfernungsbestimmung investiert, die restlichen fünf für die Erarbeitung des aktuellen Projektes. Auf Aspekte der Zeitplanung bei dieser Projektumsetzung wird in Abschnitt 5 noch eingegangen.

3.2 Einstieg in das Thema „*Kosmische Entfernungsbestimmung*“

Vor der Besprechung des eigentlichen Forschungsprojektes sollten die Schüler aus zwei Gründen historische Methoden zur Bestimmung kosmischer Entfernungen kennenlernen:

Zum einen hatte der Kurs kaum Vorkenntnisse auf dem Gebiet der Astronomie und sollte auf diese Weise einen Vorgesmack bekommen, zum anderen sollte deutlich werden, dass es sich bei der Entfernungsbestimmung der Galaxie M100 nicht um ein isoliertes Projekt handelt, sondern vielmehr um den vorläufigen Höhepunkt einer chronologischen Forschungsentwicklung.

Drei historische Entfernungsbestimmungen wurden ausgewählt und in Form von Modellen vorgestellt: Die Messung des Erdumfanges durch *Eratosthenes von Kyrene* (ca. 276 - ca. 194 v.Chr.), die Bestimmung des Erdabstandsverhältnisses von Sonne und Mond durch *Aristarchos von Samos* (ca. 310 - ca. 230 v.Chr.) und die Methode der Sternentriangulation, die erstmals von *Friedrich Wilhelm Bessel* 1838 erfolgreich durchgeführt worden ist. Beschreibungen dieser Methoden finden sich in [6], S.81f. bzw. [12], S.132f.; [5], S.131f., für eine genauere Besprechung der Planung und Durchführung dieser historischen Einleitung soll auf die über diesen Unterrichtsversuch angefertigte Hausarbeit [1] verwiesen werden.

Über die Sternenparallaxe haben die Astronomen speziell für die Belange ihrer Forschung eine eigene Entfernungseinheit definiert, welche im weiteren Verlauf dieses Projektes bei der Angabe von Distanzen stets verwendet und an dieser Stelle motiviert werden sollte: Eine *Parallaxensekunde* (*parsec* oder kurz: *pc*) ist dabei diejenige Entfernung, die ein Stern von der Sonne hat, wenn seine Parallaxe eine Bogensekunde misst ([12], S. 132f.; [5], S. 131-133). Da es im Rahmen kosmischer Entfernungen um Größenordnungen geht, bei denen Angaben in Metern im wahrsten Sinne des Wortes astronomische Zahlen ergäben, ist die Verwendung spezieller Einheiten sinnvoll und den Schülern auch zuzumuten. Da die *Parallaxensekunde* das in der professionellen Astronomie gebräuchliche Maß ist, wurde ihr hier der Vorzug gegenüber dem vielen interessierten Schülern vertrauteren *Lichtjahr* gegeben.

3.3 Vermittlung der Entfernungsbestimmung der Galaxie M100 im Unterricht

Der Nachvollzug des für Schulbelange reduzierten Wissenschaftsprojektes erfordert nur geringe astronomische Grundkenntnisse. Die kosmologischen Strukturen von Galaxien und deren Anhäufungen können anhand eindrucksvoller Bilder schnell vermittelt werden, sofern sie den Schülern nicht ohnehin schon geläufig sind.

Übung erfordert allerdings der Umgang mit der *Größenklassenskala*, die ja der physiologischen Tatsache Rechnung trägt, dass das menschliche Auge Helligkeiten logarithmisch bewertet wahrnimmt. Ein möglicher Versuch zur Motivation dieser Skala wird in [11] beschrieben. Im Rahmen des hier beschriebenen Unterrichtsversuches sollten die Schüler ihre Helligkeitseindrücke von vier Glühlam-

pen beschreiben, deren Leistungen sich von rechts nach links jeweils verdoppelten. Im Gegensatz zum fotografischen Film, der diesen exponentiellen Anstieg der Helligkeiten deutlich enthüllt (Abb. 2), empfindet das menschliche Auge eher eine lineare Zunahme der Helligkeiten. Als Resultat sollte die Proportionalität von empfundener Helligkeit, entsprechend den *Magnitudines m* der Größenklassenskala und dem Logarithmus der *Bestrahlungsstärke E* formuliert werden:

$$m \sim \log_{10}(E) \quad (1)$$

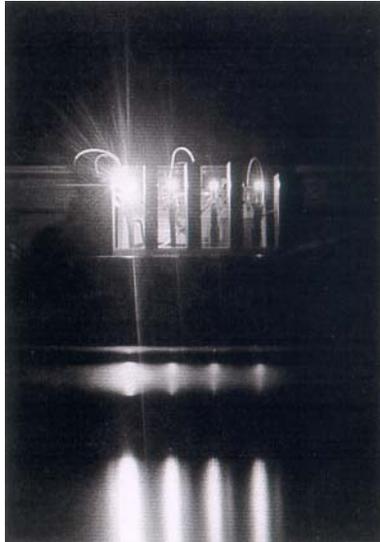


Abb. 2: Helligkeitseindruck von Glühlampen, bei denen jeweils die Anschlussleistung von rechts nach links um den Faktor zwei zunimmt (von rechts nach links: 0,3W; 0,6W; 1,2W und 2,4W)

In der Form:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \log_{10}(E_1/E_2) \quad (2)$$

erhält man einen Spezialfall des *Gesetzes von Weber und Fechner*, wobei die Proportionalitätskonstante von *N.R. Pogson* 1857 so bestimmt wurde, dass die klassische, noch bis auf *Hipparchos von Nicäa* (ca. 190 - ca.125 v.Chr.) zurückgehende Größenklassenskala möglichst gut wiedergegeben wird. Der Umgang mit Gleichung (2) kann durch Aufgaben der folgenden Art geübt werden:

Die vom Stern Rigel hervorgerufene Beleuchtungsstärke ist 1,89 mal so groß wie die des Sternes Beteigeuze. Wie groß ist die scheinbare Helligkeit des Sternes Rigel in Einheiten der Größenklassenskala, wenn die scheinbare Helligkeit des Sternes Beteigeuze $+0^m,8$ beträgt?

Dabei sollte auch auf die etwas ungewöhnliche aber traditionell übliche Schreibweise bei Angaben von scheinbaren Helligkeiten in der Größenklassenskala hingewiesen werden (wie z.B. in obiger Aufgabe: „+0^m,8“). Außerdem ist zu erwarten, dass Schüler Schwierigkeiten damit haben werden, dass sich größere Helligkeiten in der Größenklassenskala durch kleinere Zahlwerte äußern, wobei sogar negative Werte angenommen werden können.

Setzt man in Gleichung (2) nun das quadratische Abstandsgesetz ein, so ergibt sich eine Gleichung, in der unter der Voraussetzung der Konstanz aller anderen Einflussgrößen, wie z.B. der Leuchtkräfte der beiden Lichtquellen, eine Beziehung zwischen den scheinbaren Helligkeiten und den Entfernungen dieser Lichtquellen hergestellt wird:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \log_{10}(r_2^2/r_1^2) \quad (3)$$

In der Astronomie wird die scheinbare Helligkeit, die ein Himmelsobjekt in einer standardisierten Entfernung von 10pc hätte, als dessen *absolute Helligkeit* M bezeichnet. Setzt man $m_2 = M$ und entsprechend $r_2 = 10\text{pc}$ so erhält man die Darstellung für den *Entfernungsmodul* ($m - M$):

$$(m - M) = 5 \cdot \log_{10}(r) - 5 \quad (4)$$

Auch Gleichung (4) sollte durch Übungsaufgaben mit Leben erfüllt werden. Bei der hier diskutierten Durchführung sollten die Schüler beispielsweise aus der absoluten Helligkeit der Sonne auf deren scheinbare Helligkeit schließen. Dabei rief es schon allerhand Verwunderung hervor, dass die scheinbare Helligkeit der Sonne wesentlich größer ist als ihre absolute.

Nach dieser begrifflichen Vorarbeit sollten die Schüler nun die δ -Cepheidenmethode kennenlernen, mit deren Hilfe die Entfernung der Galaxie M100 zu bestimmen ist.

Zunächst wurde den Schülern der Prototyp δ -Cephei dieser schwingenden Sterne vorgestellt. Anhand eines Informationsblattes (Abb. 9) sollten sie sich dann in Eigenarbeit mit den atomphysikalischen Grundlagen der Pulsation dieses Sternentypes auseinandersetzen.

Hiernach wurden die Lichtkurven von zwölf δ -Cepheiden der Großen Magellanschen Wolke verteilt, deren mittlere scheinbare Helligkeit und Schwingungsperiode die Schüler jeweils bestimmen und in eine Liste ihrer grafikfähigen Taschenrechner eintragen sollten (Abb. 3). In der grafischen Darstellung sollte sich zeigen, dass es eine Proportionalität zwischen den Logarithmen der Perioden und der scheinbaren mittleren Helligkeit dieser veränderlichen Sterne gibt, so wie sie *Henrietta Leavitt* 1912 entdeckt hat:

$$m = s_m \cdot \log_{10}(P) + m_0 \quad (5)$$

Setzt man diese Gleichung in den Entfernungsmodul (4) ein, so ergibt sich eine entsprechende Proportionalität zwischen den Logarithmen der Perioden und den

	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
	Plot	Setup	Cell	Header	Calc	Util	Stat
DATA	P	log(P)	m.max	m.min	m.ari		
	c1	c2	c3	c4	c5		
1	52.3	1.7185	13.4	14.6	14.		
2	47.9	1.6803	12.7	13.9	13.3		
3	45.2	1.6551	13.7	14.8	14.25		
4	37.6	1.5752	13.5	15.4	14.45		
5	35.8	1.5539	13.4	15.	14.2		
6	32.	1.5051	13.5	14.9	14.2		
7	30.4	1.4829	13.2	14.6	13.9		
r1c1=52.3							
MAIN		RAD APPROX			FUNC		

Abb. 3: In den TI-92 eingegebenen Daten von LMC- δ -Cepheiden

absoluten Helligkeiten der δ -Cepheiden:

$$M = s_m \cdot \log_{10}(P) + m_0 - 5 \log_{10}(r) + 5. \quad (6)$$

Das absolute Glied dieser linearen Gleichung $M_0 = m_0 - 5 \cdot \log_{10}(r) + 5$ enthält neben dem etwa durch lineare Regression des Datenmaterials zu bestimmenden absoluten Glied m_0 aus Gleichung (5) noch die Entfernung r der Galaxie, in der sich die vermessenen δ -Cepheiden befinden. Unter der plausiblen Annahme, dass diese veränderlichen Sterne im ganzen Universum dieselben physikalischen Eigenschaften besitzen, ist die Konstanz des absoluten Gliedes M_0 zu folgern. Wird Gleichung (5) nun jeweils aus den Datensätzen zweier unterschiedlicher Galaxien gewonnen, so gestattet der Vergleich der beiden Darstellungsweisen für M_0 die Bestimmung eines Entfernungsverhältnisses der beiden Sternensysteme. Ist darüber hinaus die Entfernung einer der beiden Galaxien bekannt, so kann die Entfernung der anderen direkt abgeleitet werden:

$$m_{0,LMC} - \log_{10}(r_{LMC}) + 5 = m_{0,M100} - \log_{10}(r_{M100}) + 5. \quad (7)$$

Die Schüler untersuchten nun mit ihren Vorkenntnissen die δ -Cepheiden der Galaxie M100. Dazu wurden Lichtkurven, die vom Hubble-Raumteleskop aufgenommen wurden, verteilt (Abb. 4). Die in die Rechner eingegebenen Daten beider Galaxien konnten dann auch simultan dargestellt werden: Bei Auftragung der Periodenlogarithmen auf der Abszisse und der scheinbaren Helligkeiten auf der Ordinate ergaben sich zwei Geraden praktisch gleicher Steigung aber unterschiedlicher Ordinaten Schnittpunkte (Abb. 5). In einer Diskussion wurde bezüglich dieser Beobachtung deutlich, dass die Geradensteigung die physikalische Eigenart der Perioden-Helligkeitsbeziehung dieser Sterne charakterisiert, während der Ordinaten schnitt Rückschlüsse auf die Entfernung des Sternensystems zulässt.

Abschließend wurden nun zwei Darstellungen des absoluten Gliedes von Gleichung (6) aus den beiden Datensätzen der Großen Magellanschen Wolke bzw. der Galaxie M100 gewonnen. Im Rahmen einer freiwilligen, vorbereitenden Hausaufgabe hatte ein Schüler das Arbeitsmaterial von Prof. K.-H. Lotze zur Entfer-

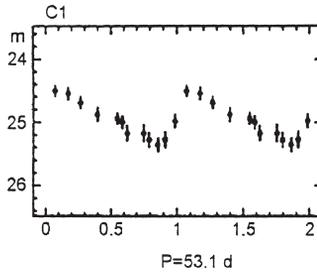


Abb. 4: Lichtkurve eines δ -Cepheiden aus der Galaxie M100

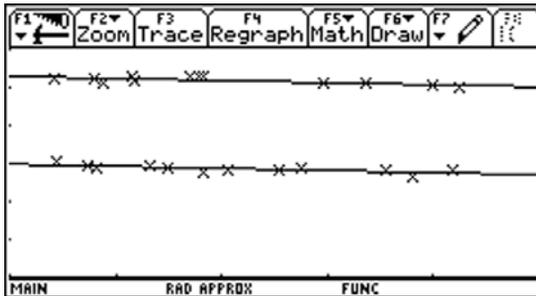


Abb. 5: Grafische Darstellung der Datensätze zur großen Magellanschen Wolke (unten) und der Galaxie M100 (oben) auf dem TI-92

nungsbestimmung der großen Magellanschen Wolke [9] bearbeitet und mit 51,9 kpc auch einen mit der Fachliteratur gut verträglichen Wert erhalten. So konnte mittels Gleichung (7) schließlich die Entfernung der Galaxie M100 zu 10,79 Mpc bestimmt werden.

4 Evaluation

4.1 Vorbemerkungen

Die folgenden Überlegungen zum Projekt M100, seiner Planung und Durchführung sowie der Akzeptanz durch die Schüler stützen sich auf folgende Punkte: Zunächst vertraute ich auf meine eigene Beobachtung, die ich nach den jeweiligen Stunden stets schriftlich niederlegte. Zudem hatte der Fachlehrer dieses Leistungskurses während des Unterrichtsversuches freundlicherweise eine ausführliche Mitschrift der Geschehnisse abgefasst, die ich dann mit meinen eigenen Beobachtungsergebnissen abgleichen konnte. Gemeinsame Gespräche über den Projektverlauf förderten weitere Details zu Tage. Die gesammelten Beobachtungen sollten zum einen durch die Resultate eines Gespräches mit den Schülern und zum anderen durch die Ergebnisse eines Fragebogens, den ich an die Schüler verteilte, kontrolliert werden. Dieser Fragebogen bestand aus zwei Teilen: Im ersten Teil sollten die Schüler fünf Fragen zu astronomischen Inhalten des Projek-

tes beantworten. Im Sinne eines anonymen und informellen Tests wollte ich die Erreichung der inhaltlichen Lernziele überprüfen. Im zweiten Teil des Fragebogens stellte ich den Schülern zu verschiedenen didaktisch-methodischen Komponenten des Projektes positive und negative Attribute auf einer fünfstufigen Skala gegenüber und bat sie um eine Einschätzung. Aus den immerhin elf (von dreizehn teilnehmenden Schülern) zurückgegebenen Fragebögen ergaben sich einige interessante Rückschlüsse. Auch hierauf soll im folgenden eingegangen werden.

Zwei weitere Punkte dieses Abschnittes befassen sich mit weiteren schwerpunktmäßigen Untersuchungsaspekten dieses Unterrichtsversuches: Mit dem Einsatz des grafikfähigen Rechners zum einen und der Einbringung von aktueller Forschungsarbeit in den Unterricht zum anderen. Auch auf diese Aspekte bezog sich der Fragebogen.

Abschließend sollen noch einige Überlegungen zu möglichen Erweiterungen des Projektes M100 notiert werden, die vielleicht eine Steigerung der Motivation erwirken können.

4.2 Fachdidaktische Überlegungen

In Bezug auf die didaktische Reduktion habe ich mich im Kern an die Arbeit von Herrn Prof. K.-H. Lotze ([10]) gehalten, diese aber mit Informationen zur Geschichte der δ -Cepheidenmethode sowie einer detaillierteren Erläuterung der Physik der zu untersuchenden Sterne erweitert und dem Ganzen die Behandlung historischer Methoden vorangestellt.

Im einzelnen bedeutet die vorgenommene Reduktion der δ -Cepheidenmethode eine Beschränkung auf die Untersuchung in einer Wellenlänge (Cousinsstandard $\hat{U}_v=548\text{nm}$, transformiert aus Aufnahmen mit dem F555W Breitbandfilter des HST) und einen kompletten Verzicht auf die Erwähnung oder Behandlung von Farbindizes, Bildbearbeitungsproblemen, Methodenkalibrierung, Sternenauswahlkriterien, etc.

Eine solche Reduktion ist zumindest im Schulkontext absolut notwendig, da die verbleibenden Begriffe allein schon für genug Verwirrung sorgen können. So sollten die Schüler bei einer Frage des Fragebogens erklären, was Astronomen unter dem Begriff Entfernungsmodul verstehen und erläutern, wozu er dient. Zwei Antworten möchte ich in diesem Zusammenhang zitieren:

Schüler 1: „Das „Entfernungsmodul“ dient zur Entfernungsbestimmung von Sternen. Durch den Vergleich von zwei Sternen, von welchen man die Entfernung des einen kennt (und die Helligkeit), lässt sich auf die Entfernung des anderen schließen.“

Hier findet sich die im Unterricht entstandene Fehlvorstellung, dass mit dem Entfernungsmodul die Helligkeiten zweier beliebiger kosmischer Objekte miteinander verglichen werden, um die Entfernung des einen zu bestimmen. Diese Fehlvorstellung entwickelte sich aus einer Diskussion über eine Zwischenformel, die

sich bei der Herleitung des Entfernungsmodules ergab:

$$m_1 - m_2 = -2,5 \cdot \log_{10}(r_2^2/r_1^2)$$

Offensichtlich habe ich es versäumt, deutlich darauf hinzuweisen, dass beim Ersetzen von (E_1/E_2) durch (r_2^2/r_1^2) stillschweigend vorausgesetzt wird, dass alle anderen Einflussgrößen, wie zum Beispiel die Leuchtkraft der Lichtquelle konstant bleiben. Betrachtet man physisch ähnliche Sterne oder gar denselben Stern in verschiedenen Entfernungen, ist diese Voraussetzung gewährleistet.

Die zweite Schülerantwort erläutert den Begriff Entfernungsmodul korrekt:

Schüler 2: „*Das Entfernungsmodul $m-M$ erlaubt die Berechnung der Entfernung (was für eine Überraschung!). Es gibt den Unterschied zwischen der scheinbaren Helligkeit, die ein Stern in der Entfernung r hat, und seiner Helligkeit im Abstand 10 pc an.*“

Natürlich stellt sich die Frage, ob die Verwendung schulphysikbezogener Begriffe hilfreich sein könnte, doch meine ich, dass dadurch die Nähe zum realen Forschungsgegenstand verlorengeht. Will man den Schülern verdeutlichen, dass hier ein Projekt aus der aktuellen Forschung in den Unterricht eingebracht werden soll, muss man ihnen auch die spezifische Sprechweise des jeweiligen Forschungszweiges vermitteln. Allerdings war es mein Fehler, dies nicht sensibel und zugleich deutlich genug getan zu haben. Dazu ist sicherlich auch ein großzügigerer Zeitrahmen notwendig. Sollte in diesem Sinne auf die historischen Methoden verzichtet werden?

Einen prinzipiellen Verzicht könnte ich nicht vertreten, da ich nach wie vor vom Sinn einer Einbettung der δ -Cepheidenmethode in einen historischen Kontext überzeugt bin. Auch mein Eindruck, dass der Einstieg mit den Modellen zu den historischen Methoden motivierend gewirkt hat, konnte durch die Schülerbefragung gut bestätigt werden. In Abb. 6 ist das Ergebnis dieses Befragungsteils wiedergegeben.

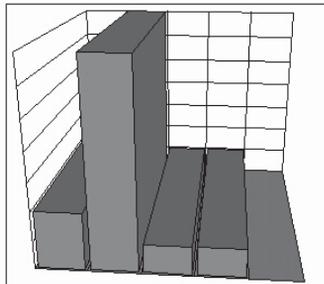


Abb. 6: Veranschaulichung der Schülerantworten zur Frage: Der Einstieg in das Projekt M100 mittels Modellen zur historischen Entfernungsbestimmung war motivierend ... demotivierend (von links nach rechts auf der Abszisse)

Auch im Gespräch mit den Schülern gab es durchwegs positive Rückmeldungen zur Einbeziehung historischer Methoden. In einem Zeitrahmen von zehn Unterrichtsstunden könnte sicherlich ausführlicher auf die Begriffe eingegangen werden und hier beispielsweise das aus der Sternentriangulation hervorgegangene Entfernungsmaß der *Parallaxensekunde* im Detail besprochen werden. Bezüglich der Inhalte dieses Projektes würde ich zusammenfassend sagen, dass eine weitere Reduktion nicht sinnvoll erscheint, einzig auf die Eingabe der δ -Cepheidendaten der Großen Magellanschen Wolke könnte verzichtet werden. Hierauf wird im folgenden Punkt 4.3 eingegangen. Allerdings muss ein weit großzügigerer Zeitrahmen zur Verfügung stehen. Zehn, möglicherweise zwölf Unterrichtsstunden sollten in jedem Fall eingeplant werden, um vor allem auch die Gedanken der Schüler und mögliche Fehlvorstellungen adäquat verfolgen zu können.

4.3 Der Einsatz des TI-92 beim Projekt M100

Durch den Rechner wird den Schülern nach meinen Beobachtungen eine gemeinsame Gerätschaft in die Hand gegeben, die es ihnen erleichtern kann, sich aufeinander zu beziehen. Über das OHP-Display können individuelle Schülerlösungen anschaulich visualisiert werden. Auch Probleme, die sich bei möglicherweise mehreren Schülern während der Arbeit mit dem Rechner ergeben, können auf diese Weise gemeinsam gelöst werden. Wie in diesem Projekt geschehen, schließt dabei der Schüler, auf dessen Rechner ein Problem aufgetreten ist, diesen an das Display an und führt unter Anleitung seiner Mitschüler die Lösungsschritte für alle sichtbar durch. Dabei können sich vor allem auch Schüler einbringen, die fachlich vielleicht nicht herausragend sind, dafür aber Erfahrung im Umgang mit den neuen Technologien haben.

Die Flut von Messdaten, die von den Schülern bei dieser Durchführung des Projektes eingegeben werden musste, wurde von vielen als zu umfangreich empfunden. Wie kann das verbessert werden?

Der Umfang der Lichtkurvensätze von jeweils zwölf betrachteten Sternen sollte meiner Meinung nach auf keinen Fall reduziert werden, weil die Vermutung eines linearen Zusammenhanges zwischen den Helligkeiten und Periodenlogarithmen der δ -Cepheiden sonst statistisch nicht mehr naheliegend genug ist. Insofern ist es weit günstiger, den Schülern einen der beiden Lichtkurvensätze bereits ausgewertet auf die Rechner zu kopieren und ihnen so das Vermessen und Eintippen zu ersparen. Aus zwei Gründen sollten dabei die Daten aus der Großen Magellanschen Wolke vorgegeben werden. Zum einen geht es im Kern dieses Projektes ja um die Galaxie M100, so dass die Schüler vorzugsweise deren aktuelle, mit dem Hubble-Raumteleskop aufgenommenen Sternenlichtkurven selbst vermessen und eingeben sollten statt der alten Katalogkurven der Großen Magellanschen Wolke. Zum anderen halte ich die Vorgehensweise, zunächst die δ -Cepheiden der Großen Magellanschen Wolke zu untersuchen, nach wie vor für besser, da die Schüler dann mit dem Vorwissen der Perioden-Helligkeitsbeziehung und einer

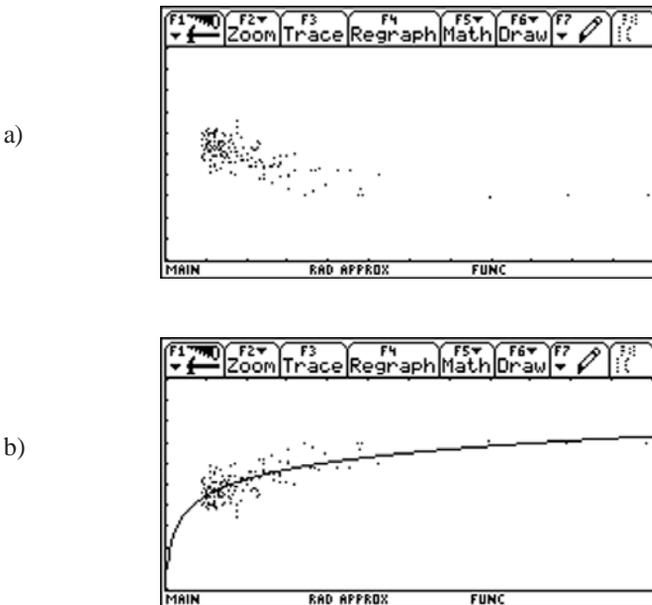


Abb. 7: Darstellung des erweiterten LMC-Datensatzes mit dem TI-92. In a) sind die Perioden (Abszisse) von 164 δ -Cepheiden der Großen Magellanschen Wolke gegen deren mittlere scheinbare Helligkeiten (Ordinate) aufgetragen. Ordinaten-skalierung numerisch aufsteigend, also von großen zu kleinen Helligkeiten übergehend. In b) ist die Skalierung umgekehrt, so dass die Regressionsfunktion den charakteristischen Verlauf einer Logarithmusfunktion zeigt.

damit einhergehenden Spannung an die Auswertung der Daten des Hubble gehen. Um diese Perioden-Helligkeitsbeziehung von den Schülern selbst entdeckbar zu machen, sollte den Schülern der komplette Datensatz, bzw. eine geeignete, den logarithmischen Zusammenhang der Größen verdeutlichende Auswahl von Lichtkurvendaten der Großen Magellanschen Wolke überspielt werden. Nebenstehend sind die Perioden (Abszisse) von 164 δ -Cepheiden der Großen Magellanschen Wolke gegen deren mittlere scheinbare Helligkeiten (Ordinate) aufgetragen. Bei dieser Auswahl wird schon viel deutlicher, dass es sich um einen logarithmischen Zusammenhang handelt. Zu berücksichtigen ist auch hier, dass die Ordinaten-skalierung numerisch aufsteigend ist, also von großen zu kleinen Helligkeiten übergeht. Kehrt man die Skalierung um, zeigt die Regressionsfunktion den charakteristischen Verlauf einer Logarithmusfunktion. Hier könnten die Schüler mit verschiedenen Regressionsmodellen des TI-92 experimentieren.

4.4 Sollte aktuelle Forschung in den Unterricht einbezogen werden?

Im Gespräch mit den Schülern wurde von deren Seite ein deutliches Interesse an der Einbeziehung aktueller Forschungsinhalte, speziell auch astronomischer, bekundet.

Einige beklagten sich allerdings darüber, dass das hier vorgestellte Projekt ein wenig „aus dem Zusammenhang gerissen“ erschien und empfahlen eine Einbettung des Projektes in einen einsemestrigen Kursunterricht in Astronomie. Auch die Auswertung der entsprechenden Frage des Befragungsbogens zeigte die deutliche Tendenz, dass sich die Schüler dieses Physik-Leistungskurses eine häufigere Einbringung von aktuellen Forschungsinhalten in den Unterricht wünschen. Mehr als die Hälfte der Kursteilnehmer kreuzte das linke der fünf Kästchen des entsprechenden Befragungsteils an (s. Abb. 8).

4.5 Resonanz der Schüler und Ausblick

Bei der Auswertung der Schüleräußerungen und der Beobachtungen bezüglich der Motivation der Schüler im Verlaufe des Projektes sollte unbedingt der schulische Kontext und hier speziell das unmittelbar bevorstehende Abitur berücksichtigt werden. Ein Schüler schreibt im dritten Teil des Befragungsbogens, also dem Raum für Bemerkungen, Kommentare, etc.: „Es fehlte einfach die Zeit, sich mehr mit dem Thema auseinanderzusetzen. Das Abi griff stark in unser Lernschema ein, so wollte man sich nicht mit abiturunrelevanten Themen beschäftigen“. Bezüglich der Einbeziehung von Inhalten der aktuellen Forschung ist es wichtig, dass diese Inhalte einerseits interessant genug sein müssen, andererseits aber noch relativ einfach nachvollziehbar, um wirklich motivierend wirken zu können. Nach den Erfahrungen, die ich im Verlaufe dieses Projektes gesammelt habe, halte

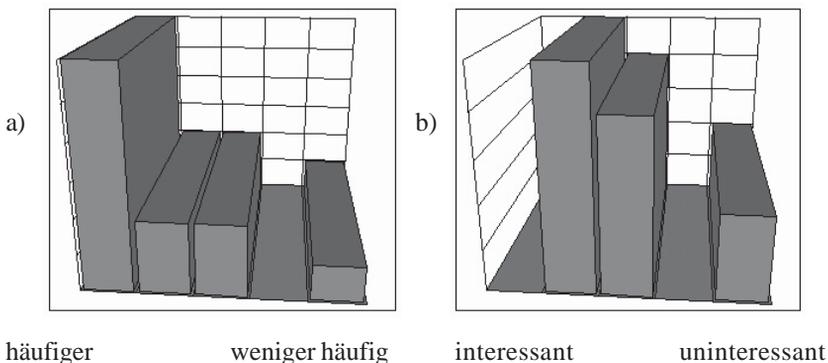


Abb. 8: Grafische Darstellung der Verteilung der Antworten zu den Fragen a) Projekte aus der aktuellen Forschung sollten... und b) das Projekt M100 fand ich...

ich das Projekt M100 in diesem Sinne für geeignet, speziell, wenn die Verbesserungen, die in diesem Abschnitt angesprochen wurden, berücksichtigt werden. Der Befragungsteil, der sich auf das Projekt als Ganzes bezieht, spiegelt eine recht positive Resonanz der Schüler wieder: Lediglich zwei Schüler fanden das Projekt M100 uninteressant, fünf gaben ihm die zweithöchste Wertung, vier eine durchschnittliche. Abschließend möchte ich nun noch einen Ausblick geben auf Möglichkeiten, das Projekt bei zukünftigen Durchführungen noch motivierender zu gestalten:

Zum einen könnten die astronomischen Daten von den Schülern aus dem Internet bezogen werden. Auf diese Weise würde auch ein engerer Kontakt der Schüler zu den Forschungsinstituten, etwa den *Carnegie Observatories* in Pasadena hergestellt. Dies ist beispielsweise auch die Idee des Programmes *Hands-On-Universe (HOU)* ([8]). Ausgenutzt werden sollte auch das Interesse der Schüler an astronomischer Weltraumtechnik. Ebenfalls aus dem Internet könnten technische Details über das Hubble-Raumteleskop abgerufen werden (<http://www.stsci.edu/hst/>). Auch denkbar wären mögliche Beobachtungen des Virgo Galaxienhaufens, zu dem auch die Galaxie M100 gehört sowie des Sternes δ -Cephei, dessen Schwankungsperiode von knapp sechs Tagen während der Durchführung des Projektes durchaus bestimmt werden könnte. Es gibt also noch spannende Ergänzungen zu diesem Projekt, dessen Durchführung nach meiner Meinung auf alle Fälle lohnend ist.

5 Literaturverzeichnis

- [1] BROCKMANN, D.: *Entfernungsbestimmung in der Astronomie unter Verwendung des grafikfähigen Taschenrechners: Ein Unterrichtsversuch im Leistungskurs Physik des 13. Jahrgangs.*
Hausarbeit im Rahmen der zweiten Staatsprüfung für das Lehramt an Gymnasien, Hannover, 2000
- [2] FREEDMAN, W. L.; S. M. HUGHES; B. F. MADORE, ET AL.: *The Hubble Space Telescope Extragalactic Distance Scale Key Project . I. The Discovery of Cepheids and a new Distance to M81*
The Astrophysical Journal, Vol. 427, No. 2, Part 1, 1. Juni 1994
- [3] FREEDMAN, W. L.; B. F. MADORE, J. R. MOULD, ET AL.:
Distance to the Virgo cluster galaxy M100 from Hubble Space Telescope observations of Cepheids, Nature 371 (1994), S. 757-762
- [4] FREEDMAN, W. L.; J. R. MOULD, R. C. KENNICUTT, B. F. MADORE: *The Hubble Space Telescope Key Project to measure the Hubble Constant*
Sonderdruck der International Astronomical Union, 1991
- [5] GONDOLATSCH, F.; S. STEINACKER, O. ZIMMERMANN:
Astronomie Grundkurs, 1. Auflage
Ernst Klett Schulbuchverlag GmbH, Stuttgart, 1990
- [6] GREHN, J.; J. KRAUSE (Hrsg.): *Metzler Physik*, 3. Auflage
Schroedel Verlag GmbH, Hannover, 1998

- [7] K.-H. Hasemann: *Unterrichtshilfen Naturwissenschaften: Astronomie*
Aulis Verlag Deubner & Co.KG, Köln, 1988
- [8] F. Hessman: *Hands-on-Universe, Lehrerfortbildung durch die Universitäts-Sternwarte Göttingen*
<http://alpha.uni-sw.gwdg.de/~hou/>
- [9] K.-H. Lotze: *Praktische Schülerübungen mit Originaldaten des Hubble-Weltraumteleskopes, Projekt Nr.1: Die Entfernung zur Supernova SN1987A*
Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) 51(1998) (4) 218-222
- [10] K.-H. Lotze: *Praktische Schülerübungen mit Originaldaten des Hubble-Weltraumteleskopes, Projekt Nr.2: Die Entfernung der Galaxie M100*
Der Mathematische und Naturwissenschaftliche Unterricht (MNU) 52 (1999) (2) 85-91
- [11] M. Reble: *Zur Maßeinheit Größenklasse*
Astronomie & Raumfahrt im Unterricht 35 (1998) 2, S. 18f.
- [12] A. Unsöld, B. Baschek: *Der neue Kosmos*, 5. Auflage
Springer Verlag, Berlin, Heidelberg, 1991

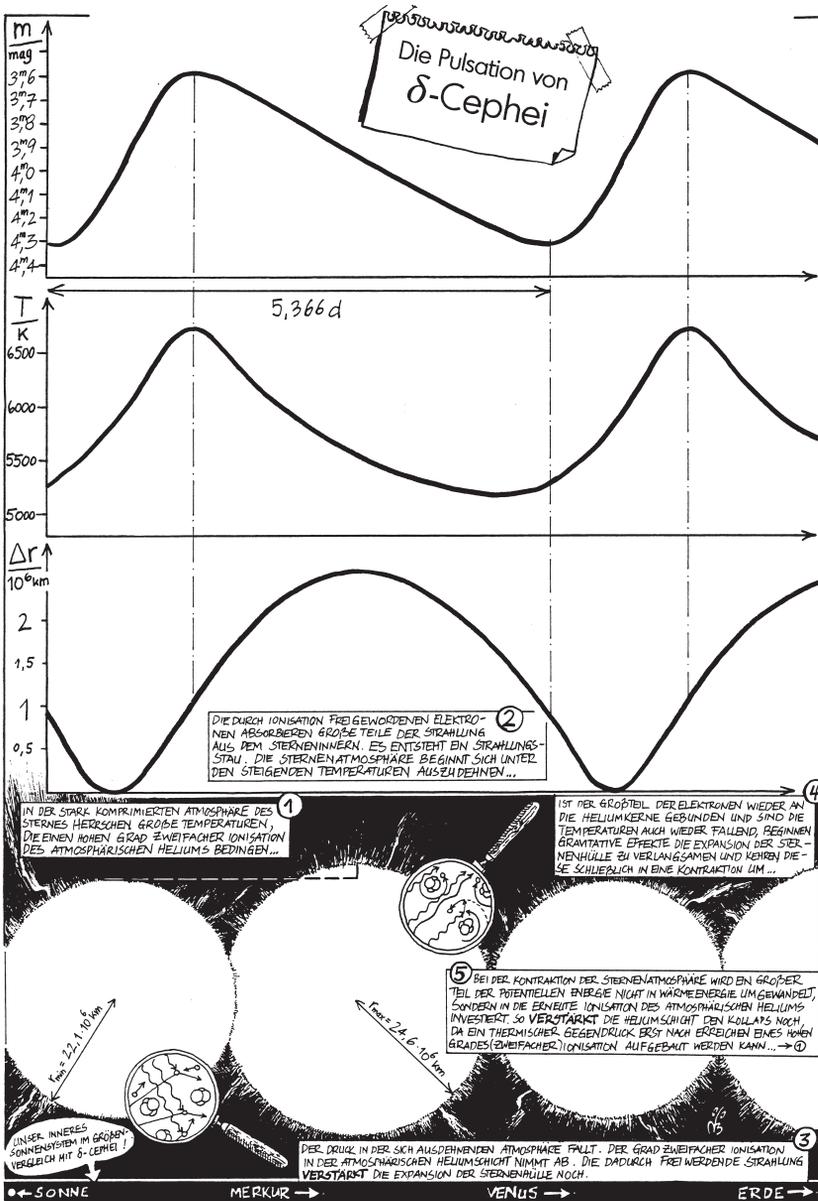


Abb. 9: Informationsblatt zur Erarbeitung der atomphysikalischen Grundlagen der Pulsation des Prototyps eines schwingenden Sterns (δ -Cephei).